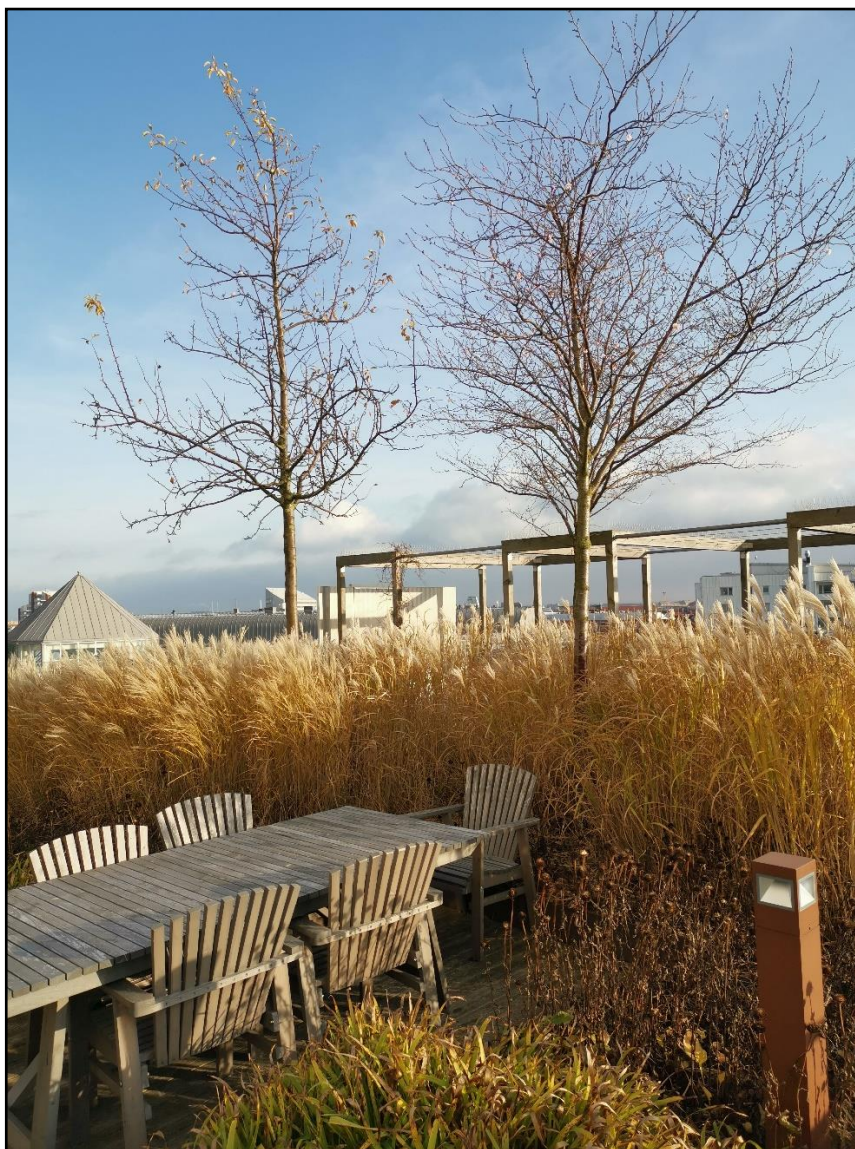


# Trädrötters utbredning på bjälklag

– En pilotstudie om möjligheten att använda  
ljudtomografi på bjälklag.

Treeroots spread on roof gardens

*Ludvig Brorsson & Herman Holmqvist*



## **Trädröters utbredning på bjälklag**

**En pilotstudie om möjligheten att använda ljudtomografi på bjälklag**

Treeroots spread on roof gardens

A pilot study on the possibilities of using sound tomography on roof gardens

*Ludvig Brorsson & Herman Holmqvist*

**Handledare:** Tobias Emilsson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Bitr handledare:** Patrick Bellan, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Examinator:** Frida Andreasson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Självständigt i arbete i landskapsarkitektur, G2E – Landskapsingenjörsprogrammet

**Kurskod:** EX0841

**Program:** Landskapsingenjörsprogrammet

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2020

**Omslagsbild:** Herman Holmqvist

**Bilder:** Samtliga bilder utan referens är tagna av Ludvig Brorsson och Herman Holmqvist

**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** trädrötter, rotutbredning, rötter, ljudtomografi, tomografi, bjälklag

# Förord

Vi vill rikta vårt varmaste tacka till Svenska Trädföreningen, som sponsrade oss med stipendier för att kunna utföra dessa undersökningar. Heartwood & Yggdrasil trädservice som hjälpte oss att utföra dem och vara stöd i form av expert hjälp för arbetet. Samt Scandinavian Green Roof Institutes som hjälpt oss lokalisera bjälklagen som undersökningarna gjordes på. Tack till Brf. Kaninen 33, Henning Perssons fastighetsförvaltare samt Stadsbostäder som tillät oss utföra undersökningarna på sina bjälklag.

Tack till Tobias Emilsson vår handledare som stötta oss i vårt arbete samt Patrick Bellan för en god idé och kontaktnät.

## **Abstract:**

This work is a pilot study on the possibility of using sound tomography to map tree roots on roof gardens. The work has been done in devotion by a method study on two different roof gardens with different substrates. Furthermore, the purpose was to investigate whether it is possible to draw conclusions on the establishment of trees on the floor with the data from sound tomographic examinations. To be able to carry out the work we have been awarded scholarship by the Swedish Tree Association and hired arborists to carry out the sound tomographic examinations. The data collection is limited to two occasions due to time and money.

The method is developed by the manufacturer and well tested on trees in soil. No published studies have been tested on trees on roof gardens. The data obtained from the surveys must be analyzed by tree experts, as many factors influence the result.

A feasibility study has been done in the form of a literature study to give a broader understanding of roots, substrates and sound tomography.

Results showed that sound tomography could be performed on the examined trees in order to chart the distribution of the roots. In order to draw conclusions about establishment, more continuous surveys are needed on several individuals. Through more knowledge about the root distribution and establishment, we will be able to create the best conditions for trees on roof gardens so that they can contribute with their ecosystem services we need to achieve the climate goals (European Commission, 2020).

## Sammanfattning:

Det här arbete är en pilotstudie om möjligheten att använda ljudtomografi för att kartografera trädrötter på bjälklag. Arbetet har gjorts i form av en metodstudie på två olika bjälklag med olika substrat. Vidare syftet var att undersöka om det går att ta slutsatser om etablering av träd på bjälklag med datan från ljudtomografiska undersökningar. För att kunna genomföra arbetet har vi tilldelats stipendier av Svenska Träd Föreningen samt anlitat arborister för att utföra de ljudtomografiska undersökningarna. Insamlingen av data är begränsad till två tillfällen på grund av tid och pengar.

Metoden är utvecklad av tillverkaren och väl beprövad på träd i mark. Inga publicerade studier har beprövats på träd på bjälklag. Datan som framkommer vid undersökningarna måste analyseras av trädexperter eftersom många faktorer påverkar resultatet.

En förstudie har gjorts i form av litteraturstudie för att ge bredare förståelse för rötter, substrat och ljudtomografi.

Resultat visade att det gick att genomföra ljudtomografi på de undersökta träden för att kartografera rötternas utbredning. För att dra slutsatser kring etablering krävs mer kontinuerligt utförda undersökningar på flera individer. Genom mer kunskap om rötternas utbredning och etablering kommer vi kunna skapa de bästa förutsättningarna för träd på bjälklag så de kan bidra med sina ekosystemtjänster vi behöver för att uppnå klimatmålen (Europakommissionen, 2020).

# Innehållsförteckning:

<b>INLEDNING:</b>	<b>7</b>
<b>BAKGRUND:</b>	<b>7</b>
<b>SYFTE:</b>	<b>7</b>
<b>AVGRÄNSNINGAR:</b>	<b>8</b>
<b>METOD:</b>	<b>9</b>
<b>UTFÖRANDE:</b>	<b>9</b>
<b>LÄSNING AV RESULTAT:</b>	<b>13</b>
<b>FÖRSTUDIE:</b>	<b>14</b>
<b>VÄXTBÄDDAR PÅ BJÄLKLAG:</b>	<b>14</b>
<b>TRÄDENS RÖTTER:</b>	<b>15</b>
<b>LJUDTOMOGRFI:</b>	<b>16</b>
<b>RESULTAT:</b>	<b>18</b>
<b>ANALYS OCH DISKUSSION:</b>	<b>29</b>
<b>ARBORISTERNAS KOMMENTARER</b>	<b>29</b>
<b>TESSINS VÄG</b>	<b>29</b>
<b>ST JOHANNESGATAN</b>	<b>30</b>
<b>SLUTSATS</b>	<b>31</b>
<b>REFERENSER:</b>	<b>32</b>

# Inledning

## Bakgrund

Om stadens tak varit gröna, hade klimat och luftkvalité kunnat förbättrats, växthusgaser från byggnader minska och dagvattenhanteringen förbättras. (Shafique, Rafiq & Kim 2018) Fördelarna att plantera på tak och bjälklag är många, det skapar emellertid utmaningar utifrån flera perspektiv. För att kunna möta dessa utmaningar krävs det att träden som planteras får en god etablering som leder till friska äldre individer, vilket är vitalt för att uppnå de ekosystemtjänster som träd kan bidra med (Deak Sjöman et al. 2016).

Växtbäddar på bjälklag skiljer sig ifrån växtbäddar på mark. Kontakt med grundvatten, bäddens djup och substratet skapar utmaningar för trädens rötter som inte förekommer i markbaserade lösningar. Det är alltså många faktorer kopplade till trädens rötter som ändras vid anläggning på tak. Rötternas utveckling är helt avgörande för trädens utveckling då de ansvarar för vatten-, näring- och syreupptag.

Det finns olika metoder för rotkartering (undersökning av trädrötter). Rotkartering används primärt som underlag för detaljplaner som stöd för att bevara befintliga äldre träd och dess rötter, på grund av att det är svårt att förutspå vart rötter breder ut sig (Östberg och Stål, 2018). Provgrävning är en av dessa metoder, substratet runt trädet grävs upp och rotsystemet exponeras. Detta kan medföra skador på rötterna från maskiner eller verktyg. En annan metod är vakuumsug, då jorden runt trädstammen sugas upp. Detta kan minimera skador men är ett kostsamt och tidskrävande alternativ än provgrävning. Ytterligare en metod är att undersöka rötterna med ljudtomografi. Där ljudvågor används för att kartlägga rötternas utbredning, och jorden förblir orörd.

Att använda ljudtomografi är en relativt ny metod och det tycks inte finnas något skrivet om att utnyttja denna teknik på bjälklag. Samtidigt framgår det tydligt att det behövs mer information eftersom förutsättningarna på bjälklag inte är densamma som på för träd planterade i mark. Om man skall kunna utnyttja de ekosystemtjänster som fullvuxna träd bidrar med.

## Syfte

Mot bakgrund av att det inte finns mycket information om ljudtomografi på bjälklag, är det intressant att göra en pilotstudie i syfte att förstå om det är möjligt att rotkartera träd planterade på bjälklag. Arbetet ämnar utreda möjligheten till användning av *Arbortom impulstomograph* - *Arboradix* för att kartlägga rotutbredningen av träd på bjälklag.

Med vetenskapen om hur vi kan nyttja våra tak är det essentiellt att det växtmaterial som används uppnår den växtkvalité som krävs för att bidra med exempelvis ekosystemtjänster. Därav kommer arbetet diskutera användningsområdet för rotkartering på bjälklag med fokus på etablering.



De frågor som kommer behandlas i arbete är:

- Går det att utnyttja ljudtomografi för att kartlägga träds rotutbredning på bjälklag?
- Kan man använda resultaten från en ljudtomografis kartläggning till att förstå hur etablering av träd på bjälklag fungerar?
- I vilken grad kan ljudtomografi ge förståelse för hur rotutbredningen av träd på bjälklag ser ut? Går det att läsa ut ett rotsystemsutbredning i en bjälklagsjord med hjälp av ljudtomografisk undersökning.

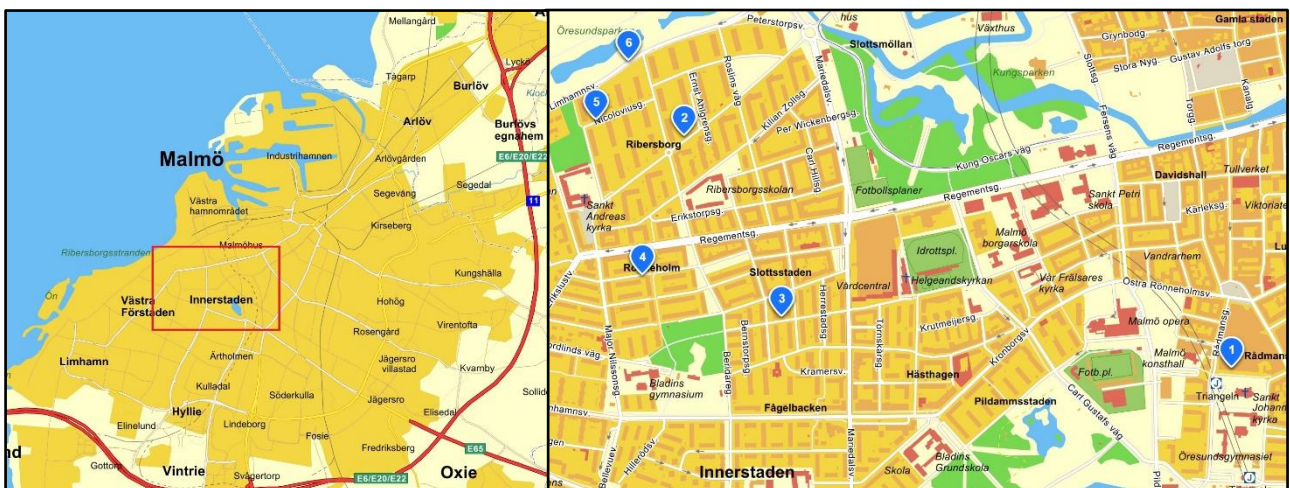
## Avgränsningar

Rapportens huvudsakliga mål att ta fram data på om det är genomförbart att använda *Arbortom impulstomograph - Arboradix* för att kartlägga trädröters utbrednad på bjälklag. Datainsamling kommer begränsas till två tillfälle. Jordanalys kommer ej genomföras utan tillhandahållas i form av bygghandling av extern part. Utförande av den slutliga rapporten är begränsad till 7 veckor(15hp).

Litteraturstudien är begränsad till SLU bibliotek, äldre kurslitteratur, databasen *Primo* samt information från tillverkare Rinntech. Eftersom det inte gjorts några studier om ämnet, kommer informationen till litteraturstudien vara begränsad.

Problematik med att använda *Arbortom impulstomograph - Arboradix* är att den är känsligt mot väta, vilket begränsar användningen av verktyget.

Studiebesök gjordes på bjälklagen; St Johannesgatan(1), Tessins väg(2), Fågelbacksgatan(3), Västra Ryttmästaregatan(4), Nicoloviusgatan(5) samt Limhamnsvägen(6) för att undersöka platsernas lämplighet, se figur 1. Två av dessa valdes. Tessins väg är ett äldre bjälklag med äldre individer var substrat är en matjord. St Johannesgatan är ett bjälklag byggt 2014 med unga individer samt en lättviktsjord. Bjälklagen valdes för deras olikheter.



Figur 1: Område för studiebesök. Den röda markeringen på vänstra sidan är förstörad på den högra sidan, med numrerade markörer vars adress är nämnda i texten ovan.



# Metod

Två fältstudier genomfördes vid olika tillfällen på två olika bjälklag. Bjälklagen valdes ut efter ett samarbete med Scandinavian Green Roof Institute. De olika bjälklagen skiljer sig åt, både med substrat samt växtmaterialet. Undersökningarna genomfördes enligt tillverkarens manual, på följande vis (RinnTech 2012) tillsammans med arborister från Heartwood samt Yggdrasil trädservice.

## Utförande

Det är viktigt att placera sensorerna rätt på trädet. Det finns inga generella regler för hur undersökningen skall genomföras eftersom varje plats och träd skiljer sig åt. Därför är det viktigt att få en översikt över platsen samt träden som skall undersökas. En stor förståelse för träd och deras struktur underlättar vid utvärderingen.

Antal sensorer som appliceras på stammen är kopplat till trädets storlek. Stora träd kräver fler sensorer och mindre träd kräver färre. Fler sensorer ger ett tydligare resultat.



Figur 2: Bild på applicerade sensorer på *Salix caprea* (Sälg) stam.

Innan sensorerna placerades, mättes stamomfånget som stöd för att värdera hur många sensorer som behövdes. Sensorerna placerades utefter stammens form, på de yttre och innersta delarna av stammen. För att få det bästa möjliga resultat placerades sensorerna i samma höjd runt stammen. Vi undvek att placera sensorerna på skada eller död ved. För att underlätta undersökningen placerades den första sensorn alltid i nordlig riktning. Detta eftersom programvaran är inställd på att utgå från norr.



Sensorerna fästes på stammen med stift. Det är viktigt att stiften penetrerar barken så att ljudvågorna kan gå igenom stammen och upptas av mottagarna. Dessa fästes i stammen innan sensorerna appliceras, se figur 2.

Måttbandet placerades vid det första stiftet (där den första sensorn ska placeras) och fördes medurs, tätt runt stammen, se figur 3. Informationen om avståndet mellan de olika sensorerna skrevs in i programvaran. Sensorerna fästes sedan på stiften på respektive stift. Slutligen säkerställde vi att samtliga sensorer var ordentligt fästa genom att vicka på dem.



*Figur 3: Bild på måttband och sensor.*

Sensorerna kopplades ihop med sensorkablarna. Det är viktigt att kablarna är kopplade rätt, uppmärksamma in- och utmatning. Efter det kopplade vi samman den sista sensorn med batteriet med huvudkabeln. Batteriet slogs på, för att se så samtliga sensorer lyste grönt förutom den sista sensorn som lyste gult.

Den data som sensorerna genererar analyseras i en specifik programvara där antalet sensorer- och sensorernas höjd från marknivå angavs. Avståndet från samtliga sensorer angavs som värden, där den första sensorn fick den totala omkretsen (det högsta värdet).

Resterande sensorerna fick sina värden från avståndet mellan sensor 1 och vald sensor. Exempelvis, sensor 4 fick värden av avståndet mellan sensor 1 och sensor 4.



*Figur 4: Bild på programvara analys och ljudtest på plats.*

Eftersom få stammar är helt cirkulära justerades inmätningen. Där stammen avvek och en sensor var placerad, mättes avståndet mellan stam och måttband. Värdet skrevs in i programvaran för att få ett tydligare resultat.

Ett ljudtest gjordes genom att slå på en valfri sensor och ett bekräftande ljud hördes från programvaran.

För att öka precisionen på sensorerna slogs varje sensor med en hammare. I programvaran fylldes en tabell med värden för "körtid". När alla sensorer hade värden under 10 visade det att sensorerna var ordentligt sammankopplade, se figur 4.

När samtliga steg ovan var iordningställda påbörjades undersökningen.





*Figur 5: Bild på mätningsprocessen, på bild syns stålstav, batteri samt sensorer och Robert Andreasson.*

Vi började vid den första sensorn. Ett avstånd mellan mätningarna (avstånd mellan sensor och stålstaven) bestämdes. Avståndet 50 cm valdes för högre precision. Stålstaven placerades på det bestämda avståndet och slogs på med gummihammare. Om en ljudvåg nådde sensorn på trädet hördes en hög ton, se figur 5. Om det istället hördes en låg ton indikerar detta att det inte fanns rötter, att rötterna låg för djup eller att ljudvågen inte kunde förflytta sig i substratet. Sensorer som mottog en ljudvåg lyste ett blått ljus och de som inte upptog en lyste ett rött ljus.

När det fanns tillräckligt mycket data från den första mätningen, flyttades stålstaven det bestämda avståndet från föregående mätning i sensorn riktning. Processen upprepades till det inte gick att registrera några nya värden. Då upprepades processen vid samtliga



kvarstående sensorer i nummerordning. Det är viktigt att avståndet är samma under samtliga mätningar, se figur 6.



*Figur 6: Bild på undersökning av träd #4, samtlig utrustning är synlig samt Robert Andreasson och Andreas Eriksson.*

Efter utförda mätningar, togs sensorer samt stiften bort från trädet. För att undvika skador på sensorerna monterades de bort från stiften.

## Läsning av resultat

Mätningarna måste tolkas, vilket tillverkaren påpekar är användarens ansvar och hänvisar att resultatet bör tolkas av trädexperter. Eftersom ljudets hastighet påverkas av många faktorer är det viktigt att resultatet ses som trädets huvudsakliga rotutbredning.

Resultatet visas i form av ett diagram, där de olika färgerna representerar olika värden av hastigheter. Röd eller lila representerar långsamma värden och grön eller blå representerar snabba värden.

Rinn (2016) kopplar hastigheterna till typ av rötter. Där solida, stora och ytliga rötter leder ljudet snabbare. Vilket tyder på att gröna eller blå linjer är större än de röda eller lila. Med den informationen går det att tolka vart rötterna breder ut sig (a.a).

# Förstudie

## Växtbäddar på bjälklag

En växtbädd består av tre komponenter; vatten, luft och fast material. Det fasta materialet bildar skelettet i växtbädden, och beroende på vilket substrat du använder, packningsgraden, och avståndet, mellan markyta kommer vatten och luftporositeten förändras skriver Pettersson Skog et al. (2017). Hålrummen som bildas i skelettet, porerna, är fyllda med vatten eller luft, eller båda delarna beskriver Larsson (2008) i sin rapport om jordens egenskaper.

Pettersson Skog et al. (2017) beskriver att en växtbädd på ett bjälklag skiljer sig till skillnad från en växtbädd på mark med vanlig jord. Att anlägga en växtbädd på bjälklag ställer högre krav på noggrann dimensionering och projektering än anläggningar på befintlig mark.

Exempelvis så bryts den kapillära kontakten med det naturliga grundvattnet, näringsinnehållet minskar och växtbäddarna blir ofta tunnare än planteringar på befintlig mark. Detta innebär att rotutrymme och vattenmagasin begränsas, vilket resulterar till torka under torra perioder, även vind och fler soltimmar ämnar till torrare växtbäddar (Pettersson Skog et al. 2017)

Med bakgrund av detta påpekar Pettersson Skog et al. (2017) vikten med substratets kvalitet, växtmaterial samt att växtbädden bör vara minst 600 mm djup för träd.



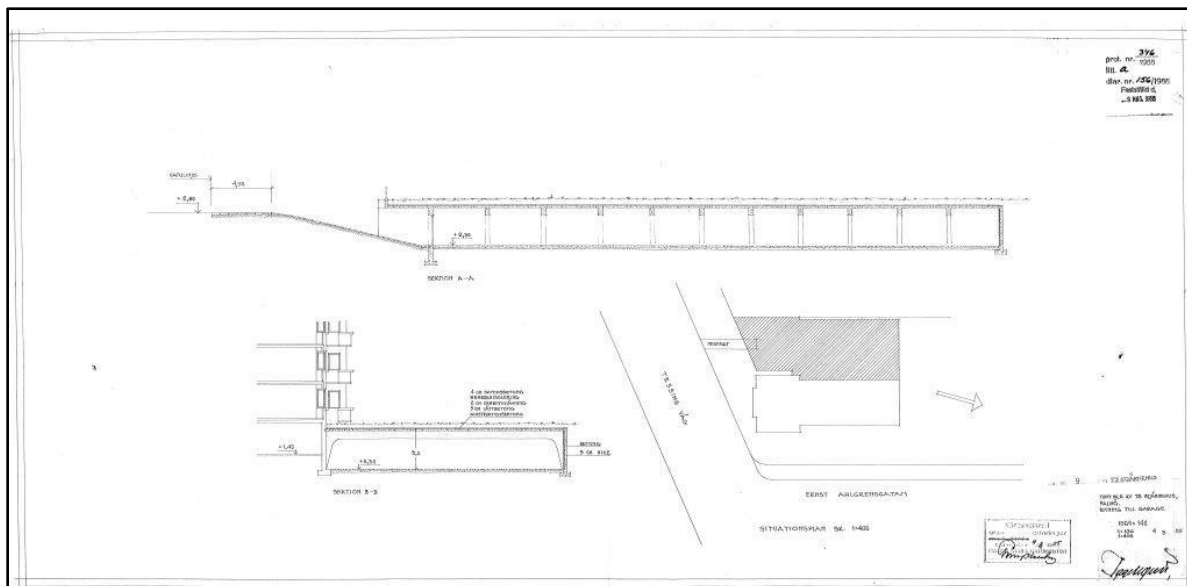
*Figur 7: Bild på substrat från St Johannesgatan.*

Det två olika bjälklagen vi undersökt hade olika substrat;

Enligt bygghandlingarna beskrivs substratet på kvarteret Kaninen 33 vara Hasselfors Växtjord typ C eller likvärdig, med innehåll av minst 40% pimpsten, se figur 7. Pimpstens vattenhållande egenskaper hjälper till att bibehålla fukten i växtbädden vid situationen av begränsad substratvolym och substrat vikt, samtidigt som porositeten bibehålls i hela växtbädden (Bara mineraler, 2018)



Tessins väg 13 fastigheter byggdes 1953 med tillhörande garage. Information om växtdjup och substrat på platsen har tillkommit genom granskning av gamla ritningar vi har fått ta del av genom Malmö stads Stadsbyggnadskontorsarkiv(2019), se figur 8. Substrattyp framgår inte av ritningarna och därför kommer den definieras som "Parkjord". Se bilaga 1 för ritning.



Figur 8: Bild på ritning av Tessins väg (Malmö stads Stadsbyggnadskontorsarkiv, 2019)

## Trädens rötter

En vanlig missuppfattning är att ett rotsystem breder ut sig likt trädets krona. Men Biddle (1998) påpekar att det är ett mer komplicerat och assymetriskt system, där majoriteten av rötterna finns mellan 0,5 till 1 meter ner i substratet och kan sträcka sig trädets höjd horisontellt. Vidare skriver Biddle (1998) att diametern på rötterna varierar beroende på hur nära stammen de är, att de större rötterna inte sträcker sig längre än 2 meter ifrån stammen. Dessa större rötters huvudsakliga funktion är att stabilisera trädet emot vind (Cutler, Gasson och Farmer, 1990). Vidare skriver Cutler, Gasson och Farmer (1990) att majoriteten av de träd de undersökte hade rötter vars diameter var större än 50 mm samt att de fann ett förhållande mellan stam- och rottjocklek. Biddle (1998) skriver att rötterna inledningsvis är små och vita och sträcker genom substratet i jakt på fukt och näring. Vidare påpekar Biddle (1998) att det är denna utveckling som står till grund för rotsystemets struktur.

Rotsystemet har ett antal primära funktioner. Att förankra trädet i substratet, uppta och transportera: vatten, näring och syre, samt lagra stärkelse (Biddle 1998). Uptagandet av vatten, näring och syre görs primärt av de yngre rötterna och deras rothår. Rothår är en utväxt på en rotcell, som ökar den totala ytan för vatten-, näring- och syreintag (Zhang et al. 2018). Rötters grundläggande funktion är att förse trädet med vatten från jorden. Processen att ta upp vatten till rötterna skiljer sig från rötternas näringsupptag som, i vanliga fall, innefattar process med aktivt tryck genom plasmamembran in till cytoplasmaceller (Stculde 1994). Genom transpiration tas vatten upp, emellertid inte aktivt utan rör sig passivt genom roten med hjälp av osmos (Stculde 1994). Barberon och Geldner (2014) beskriver tre olika system för näringsupptag genom rötterna. Aplastiskt, då näring transporteras mellan cellväggarna in till xylemen (a.a). Symplastiskt, då näringen transporteras genom plasmodesmatan (en kanal mellan två celler) via celler in till xylemen (a.a), samt kopplad



transcellulär, då näringen transporteras från cell till cell (a.a). De olika systemen används beroende av vilket näringsämne som transporteras (a.a). Näring lagras även i rötterna i form av stärkelse som förbrukas efter lövfällning (Dunn, Potter och Kimmerer, 1990).

Rötters överlevnad är ständigt i fokus.

*“Roots are opportunistic and grow anywhere that the resources of life are available: in the air of super humid rainforests; down through the cracks in rocks into Mammoth Cave, Kentucky; into the moisture laden crevices of mountain tops; down storm sewers; and under sidewalks”* (Thomas O . Perry 1993, s. 6)

Samtidigt är det lätt att hindra rötternas tillväxt. Rötter kan varken tränga igenom tunga kompakterade jordar eller jordar med begränsat syre(Thomas O. Perry, 1993).

Thomas O . Perry (1993) beskriver förutsättningar för att rötter ska kunna utvecklas i 7 punkter;

**Vatten:**

Mängden och kvalitén på vattnet är mycket viktig. För mycket vatten, även under en kort tid, kan leda till stress och rotdöd.

**Syre:**

Allt levande behöver syre, även rötter.

**Stöd:**

Att det under etableringen finns externa stöd, för att förhindra att träd välter.

**Värme:**

Trädrötter skadas om temperaturen understiger -6 °C.

**Näring:**

Koncentrationen av näringsämnen måste vara på en lämplig nivå, och pH beroende på specifik art.

**Stabilitet:**

Trädet måste stå i ett stabilt substrat.

**Fri från gifter:**

Vikten av att jorden skall vara fri från gifter, exempelvis tungmetaller.

**Plats att växa:**

Ge träden tillräckligt med utrymme så att inte träden behöver konkurrera om vatten, syre och näring.

## Ljudtomografi

Tomografi kommer från grekiska ordet *to'mos* som betyder “avskuret stycke” samt *gra'phō* som betyder “bild”(Nationalencyklopedin, 2019). Förenklat är ljudtomografi en teknik där förändringar i ljudvågor som passerar ett element utgör information om objektet (Luchin, Ramos och D'amato, 2018). Inom landskapsvård används ljudtomografi för att estimeraröta i träd eller kartering av rötter (Heartwood, 2018).

*Arbortom impulstomograph* är en ljudtomograf som används vid trädbesiktning. Metoden fungerar genom att placera sensorer runt basen av en trädstam som sedan slås med en

hammare (Rinn 2018). Slaget skapar ljudvågor som skickas ut i trädstammen (a.a). När sensorn blir slagen aktiveras mottagare i de andra sensorerna som mäter tidsintervaller från slaget till mottagning av ljudvåg (a.a). Defekter i stammen gör att ljudvågorna tar längre tid att nå mottagaren vilket resulterar i en längre tidsintervall än intakta delar (a.a). Genom att dela avståndet mellan sensorerna med tidsintervallen skapar det ett resultat om vart det finns defekter i stammen (a.a). Vidare skriver Rinn (2018) att defekterna i stammen inte bör tolkas som röta utan nedsatt bärighet. Men Watson (1993) påpekar att de flesta problem med träd i urbana miljöer börjar under jorden.

Tyskland har stora problem med att träd som ser friska ut välter på grund av röta eller skador på rötter (Rinn 2016). I början av 2000-talet började experter undersöka olika metoder för att lokalisera problemet och Rinn (2016) ansåg att den information som GRP bidrog med var bristande:

*“Ground penetrating radar (GPR) can generally reveal the root system of trees in open land and in park situations, but often fails to identify roots in urban settings and along roads. It cannot reliably distinguish between roots and utility lines, such as gas and water pipes. Because roots often grow under and along such pipes, they are nearly invisible to GPR”* (Rinn 2016 s.26)

Genom flera års arbete med ljudtomografi utvecklade Rinntech en metod för att fastställa utbredningen av träds stabiliserande rötter. Bakgrunden var att ta reda på varför stadsträd som ansågs friska välts (Rinn, 2016). Hypotesen var att förbindelsen mellan jorden- och rötterna närmast stammen skapade möjligheten att använda ljudtomografi (Rinn, 2016). Efter lyckade försök med god framgång blev metoden populär och andra trädexperter önskade utnyttja ljudtomografi. Däremot blev syftet med ljudtomografin annorlunda än vad Rinn (2016) hade tänkt sig. Istället för att lokalisera rötter närmast stammen, ville andra trädexperter lokalisera exakt var och hur långt trädrötter sträcker sig (Rinn 2016). Med bakgrund av detta tog de ytterligare steg för att undersöka om det skulle vara möjligt att utnyttja ljudtomografi för att se hela trädets rotutbredning. Dock visar senare studier att det är endast den huvudsakliga rotutbredningen som går att kartlägga med ljudtomografi (Heartwood, 2018).

*Arboradix* är ett tillägg till *Arbortom impulstomograph*. Likt *Arbortom impulstomograph* fästs sensorer runt basen av trädstammen. Genom att slå på en sensor kopplad till en stålstav, skapas en ljudvåg som färdas genom jorden, in i rötterna och upp till mottagarna (Rinn 2016). Sensorn på stålstaven är kopplad till sensorerna på stammen, så att de aktiveras och mäter tidsintervallen från slaget till mottagning av ljud (Rinn, 2016). Likt *Arbortom impulstomograph* ges resultatet genom att dela avståndet från stav till sensorerna med tidsintervallen (a.a).

Ljudvågorna som skickas ut är longitudinella vågor, vibrationer som rör sig i den riktning de förflyttar sig (Munjal, 2013). Dessa vågor färdas i olika hastigheter beroende på material, som går att beräkna med formeln; där  $C$  är ljudets hastighet,  $B$  är bulkmodulen (hur resistent ett material är till kompression) och  $\rho$  är materialets densitet (LibreTexts, 2019).

$$C = \sqrt{B / \rho}$$

I jord finns det olika faktorer som påverkar ljudets hastighet. Tätt jordkorns kontakt ökar hastigheten och överföringen av ljudvågor till nästa korn (Oelze et al, 2002). Vattenmängden i jorden varierar påverkan. En vattenfylld jord har lägre hastighet än en torr om det är en kompakt jord (a.a), eftersom luftfyllda porer har en negativ påverkan på hastigheten likväl hög porositet (a.a).

I tjocka och intakta rötter färdas ljud snabbare än i jord (Rinn 2008), vilket gör att sensorerna på stammen kan utesluta att ljudvågen färdats genom en rot och inte jord. Eftersom det krävs tjocka och intakta rötter begränsas ljudtomografi till att endast kunna lokalisera grövre och större rötterna på ett träd (a.a). Mjukvaran konverterar sedan resultatet och skapar ett linjediagram där de olika hastigheterna har olika färg, vilket motsvarar olika storlek på rötterna (a.a), se figur 9.



Figur 9: Bild på mjukvaran samt resultat.

## Resultat

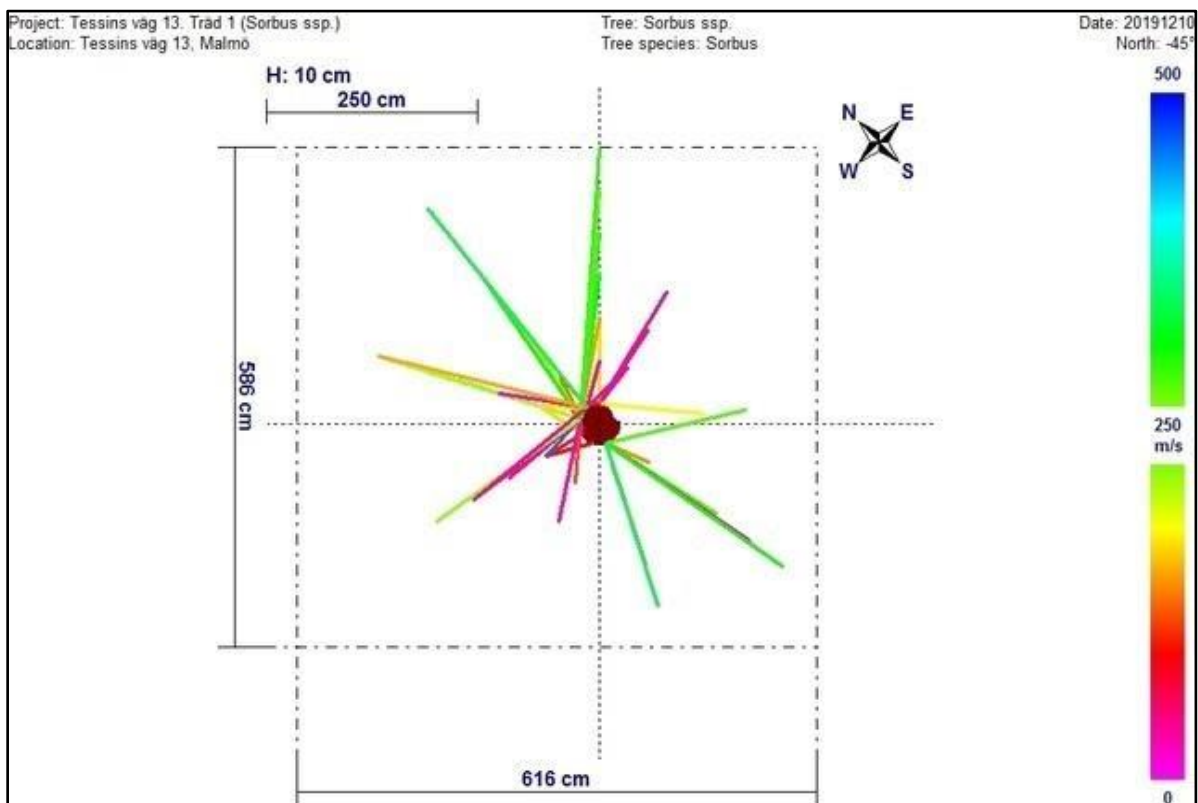
Samtliga resultat kommer redovisas i mallar. Stamomkretsen är tagen mellan 5 och 10 cm från marken som anges på resultatbilden. Art är bestämd genom okulär bedömning på Tessins väg, och genom AMA beskrivningar på St Johannesgatan. Substratdjup är bedömt genom ritningar eller bygghandlingar. Planteringsår är uppskattat efter ritningar och bygghandlingar samt i diskussion med konsulter.

Tabell 1. Visar sammanställda resultat av träd #1 från Tessins väg, se figur 10 och 11 för bild och graf

<b>Plats:</b>	<b>Tessins väg 13 – Malmö</b>
<b>Träd nummer:</b>	<b>1</b>
<b>Tid, datum:</b>	13:20 2019-12-10
<b>Art:</b>	<i>Sorbus intermedia</i>
<b>Planteringsår:</b>	1953
<b>Stamomkrets:</b>	158 cm
<b>Substrat:</b>	"Parkjord"
<b>Substrat djup:</b>	400 mm
<b>Antal sensorer:</b>	9 st
<b>Antal mätningar:</b>	47 st
<b>Avstånd mellan mätningar:</b>	50 cm
<b>Övrigt:</b>	Inga tydliga huvudrötter. Ventilationstrumma begränsade rötternas möjlighet till utbredning åt samtliga håll.



Figur 10: Bild på träd #1 vid mätningstillfället. På bilden syns arboristerna.



Figur 11: Resultat träd #1. Bilden visar en graf i toppvy med resultatet från undersökningen. Korshårets mitt indikerar stammen. Strecken visar var rötter finns. Färgerna indikerar hastigheten ljudet transporterades mellan sändare och sensorer. H = höjden sensorerna applicerades från marken.

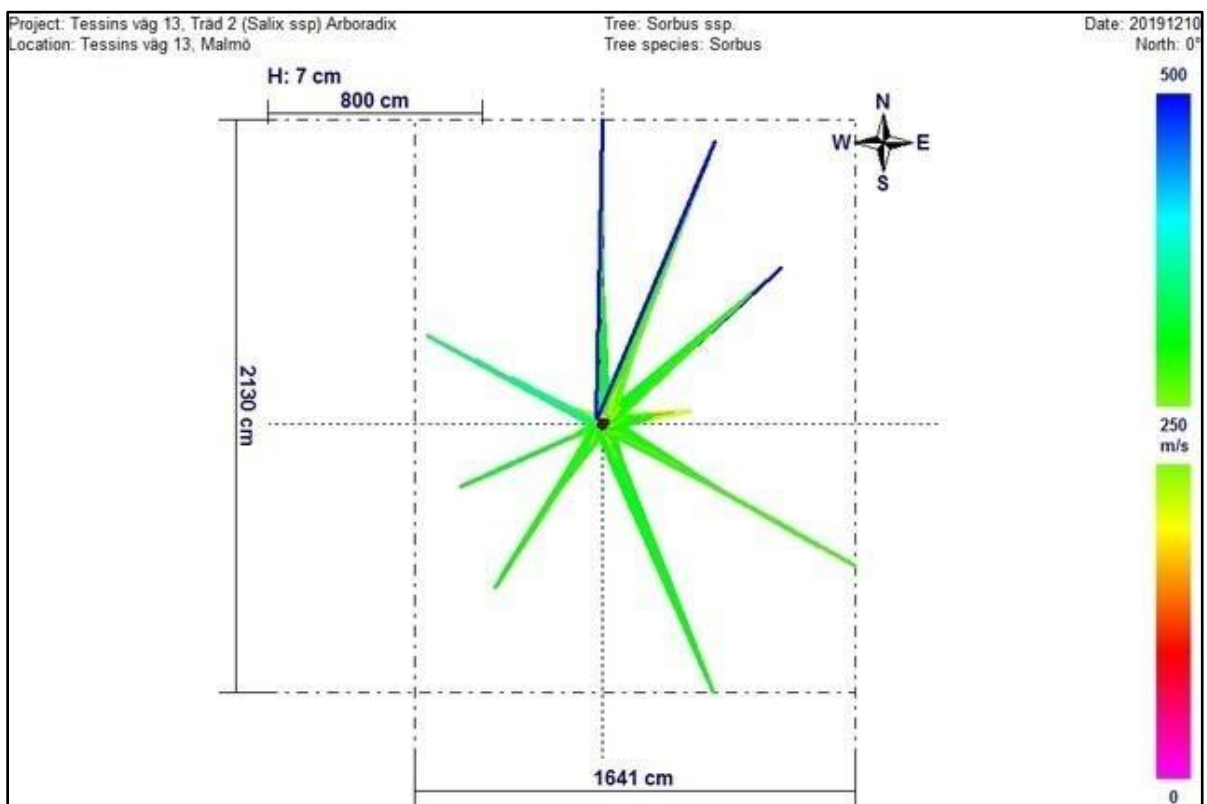
Tabell 2. Visar sammanställda resultat av träd #2 från Tessins väg, se figur 12 och 13 för bild och graf

<b>Plats:</b>	Tessins väg 13 - Malmö
<b>Träd nummer:</b>	2
<b>Tid, datum:</b>	14:30 2019-12-10
<b>Art:</b>	<i>Salix caprea</i>
<b>Planteringsår:</b>	1953
<b>Stamomkrets:</b>	199 cm
<b>Substrat:</b>	"Parkjord"
<b>Substrat djup:</b>	400 mm
<b>Antal sensorer:</b>	9 st
<b>Antal mätningar:</b>	127 st
<b>Avstånd mellan mätningar:</b>	50 cm
<b>Övrigt:</b>	Stamskador. Ventilationstrumma begränsade rötternas möjlighet till utbredning åt samtliga håll.





Figur 12: Bild på träd #2 vid mätningstillfället. På bilden syns arboristerna samt Ludvig Brorsson.



Figur 13: Resultat träd #2. Bilden visar en graf i toppvy med resultatet från undersökningen. Korshårets mitt indikerar stammen. Strecken visar var rötter finns. Färgerna indikerar hastigheten ljudet transporterades mellan sändare och sensorer. H = höjden sensorerna applicerades från marken.

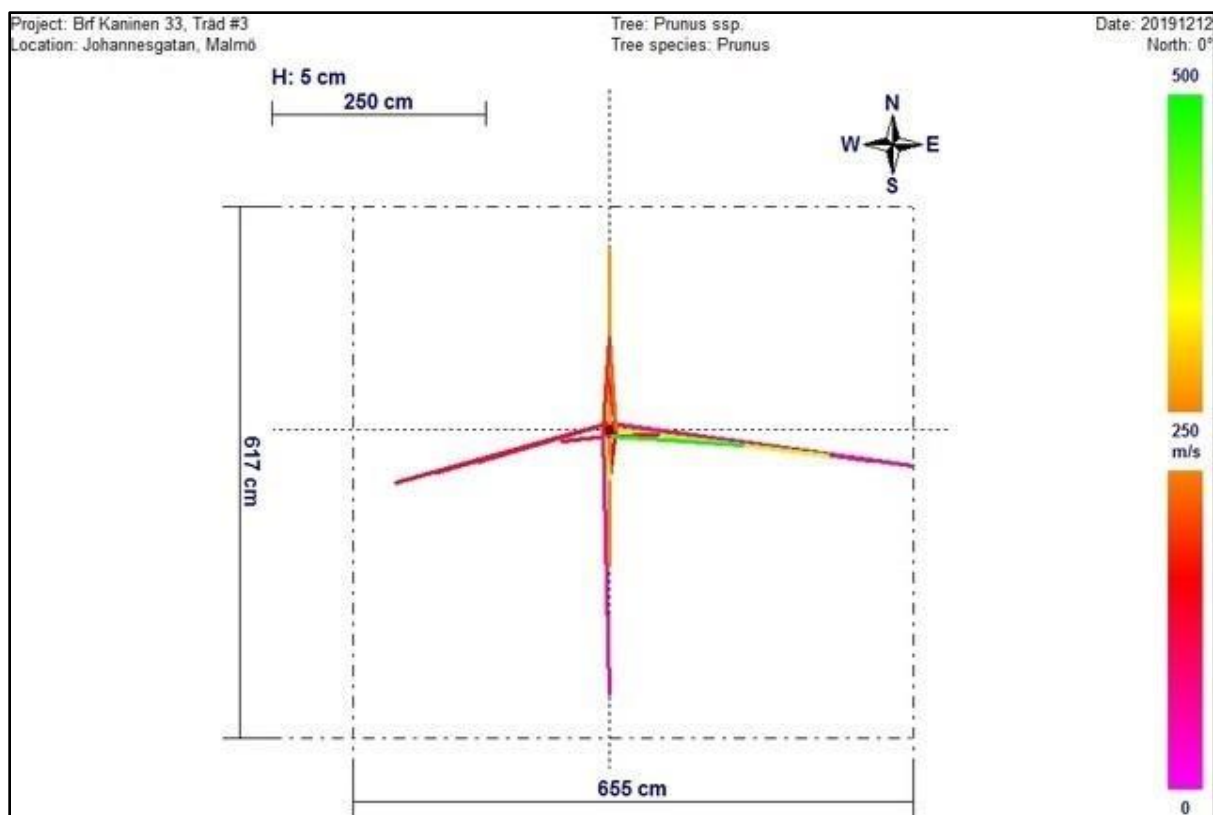


Tabell 3. Visar sammanställda resultat av träd #3 från St Johannesgatan, se figur 14 och 15 för bild och graf

<b>Plats:</b>	<b>St Johannesgatan - Malmö</b>
<b>Träd nr:</b>	<b>3</b>
<b>Tid, datum:</b>	12,00-16,00 2019-12-12
<b>Art:</b>	<i>Prunus serrulata</i> 'Accolade'
<b>Planteringsår:</b>	2014
<b>Stamomkrets:</b>	52 cm
<b>Substrat:</b>	Bjälklagsjord typ C med 40% pimpsten
<b>Substrat djup:</b>	500 mm
<b>Antal sensorer:</b>	4 st
<b>Antal mätningar:</b>	26 st
<b>Avstånd mellan mätningar:</b>	50 cm
<b>Övrigt:</b>	Begränsad stamomkrets, endast 4 sensorer. Hade antydning till ansvällning på nedre del av stammen. I närheten fanns mindre markbelysning samt ventilbox för vattenkoppling. Trädet var inramat med kantstål vilket begränsade rotutbredningen på flera håll.



Figur 14: Bild på träd #3 vid mätningstillfället. På bilden syns arboristerna.



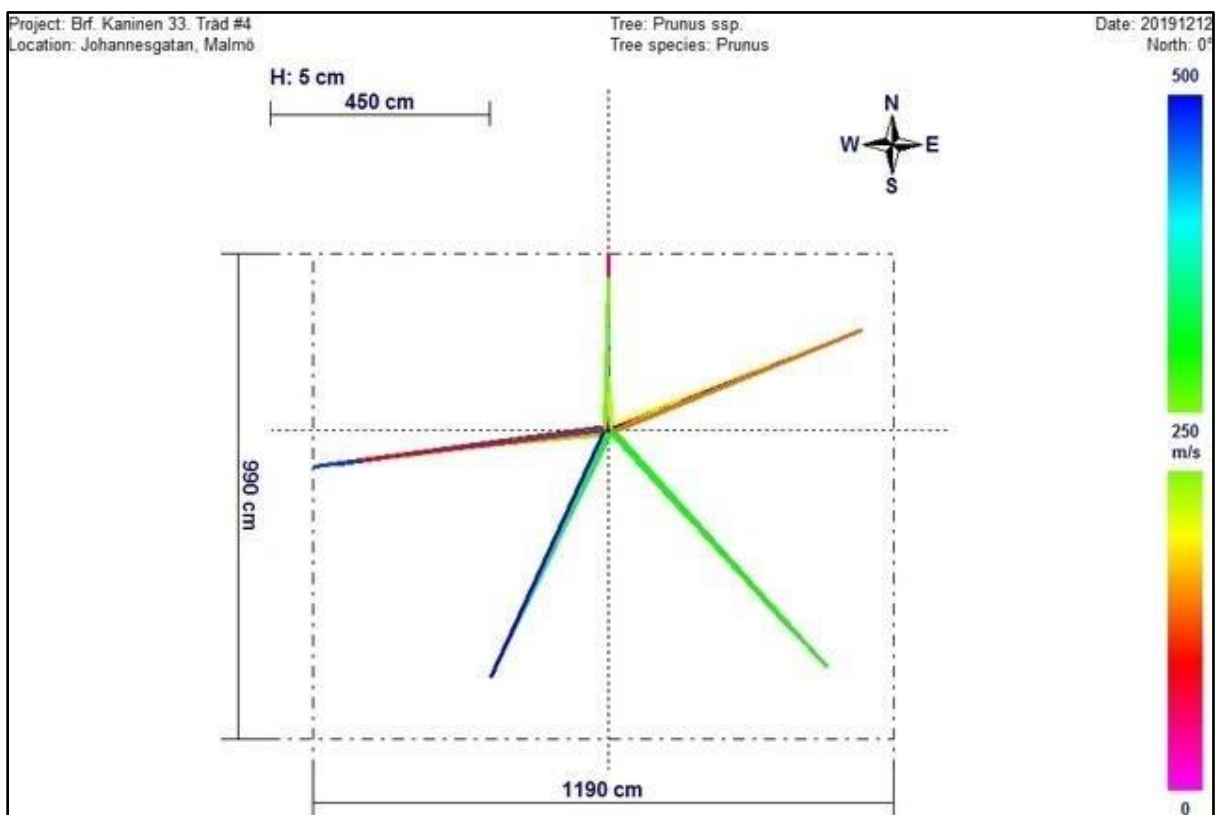
Figur 15: Resultat träd #3. Bilden visar en graf i toppvy med resultatet från undersökningen. Korshårets mitt indikerar stammen. Strecken visar var rötter finns. Färgerna indikerar hastigheten ljudet transporterades mellan sändare och sensorer. H = höjden sensorerna applicerades från marken.

Tabell 4. Visar sammanställda resultat av träd #4 från St Johannesgatan se figur 16 och 17 för bild och graf

<b>Plats:</b>	<b>St Johannesgatan - Malmö</b>
<b>Träd nr:</b>	<b>4</b>
<b>Tid, datum:</b>	12,00-16,00 2019-12-12
<b>Art:</b>	<i>Prunus serrulata 'Accolade'</i>
<b>Planteringsår:</b>	2014
<b>Stamomkrets:</b>	52 cm
<b>Substrat:</b>	Bjälklagsjord typ C med 40% pimpsten
<b>Substrat djup:</b>	500 mm
<b>Antal sensorer:</b>	4 st
<b>Antal mätningar:</b>	60 st
<b>Avstånd mellan mätningar:</b>	50 cm
<b>Övrigt:</b>	I närheten fanns mindre markbelysning samt ventilbox för vattenkoppling. Trädet var inramat med kantstål vilket begränsade rotutbredningen på flera håll.



Figur 16: Bild på träd #4 vid mätningstillfället. På bilden syns arboristerna samt Ludvig Brorsson.



Figur 17: Resultat träd #4. Bilden visar en graf i toppvy med resultatet från undersökningen. Korshårets mitt indikerar stammen. Strecken visar var rötter finns. Färgerna indikerar hastigheten ljudet transporterades mellan sändare och sensorer. H = höjden sensorena applicerades från marken.

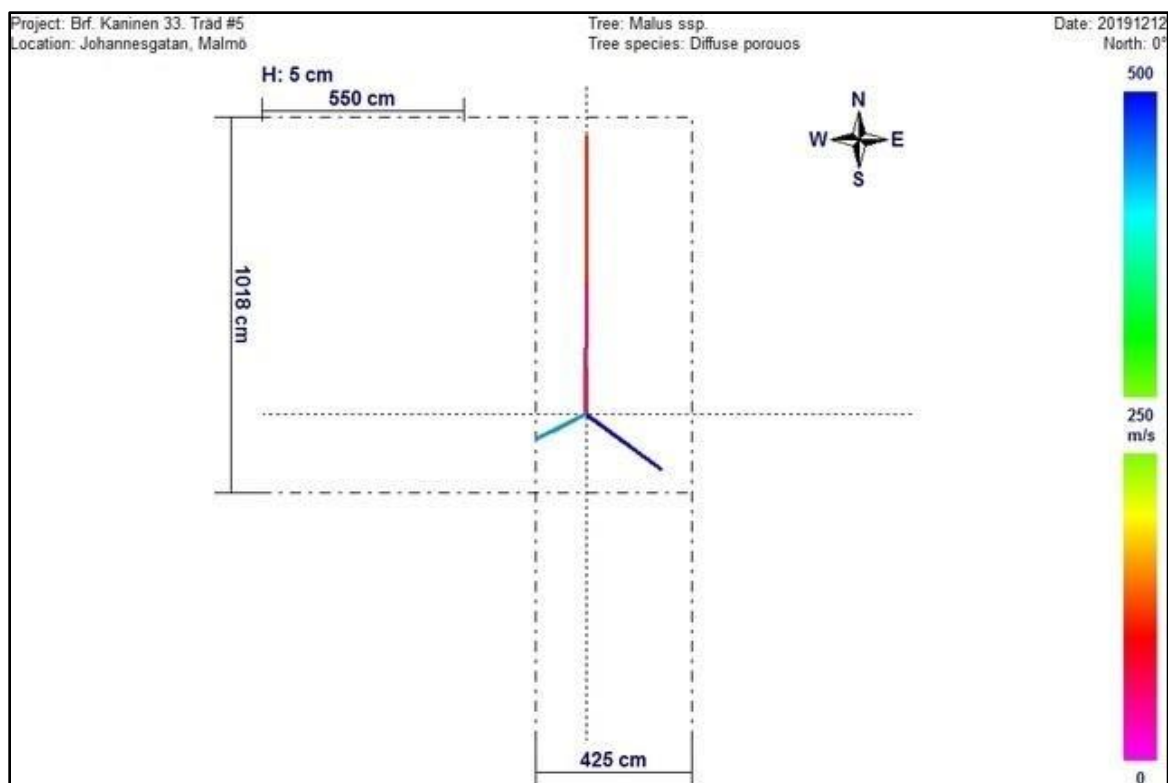
Tabell 5. Visar sammanställda resultat av träd #5 från St Johannesgatan, se figur 18 och 19 för bild och graf

<b>Plats:</b>	<b>St Johannesgatan - Malmö</b>
<b>Träd nr:</b>	<b>5</b>
<b>Tid, datum:</b>	12,00-16,00 2019-12-12
<b>Art:</b>	<i>Malus x hybrida 'John Downie'</i>
<b>Planteringsår:</b>	2014
<b>Stamomkrets:</b>	37 cm
<b>Substrat:</b>	Bjälklagsjord typ C med 40% pimpsten
<b>Substrat djup:</b>	500 mm
<b>Antal sensorer:</b>	3 st
<b>Antal mätningar:</b>	26 st
<b>Avstånd mellan mätningar:</b>	50 cm
<b>Övrigt:</b>	Begränsad stamomkrets, endast 3 sensorer. I närheten fanns en mindre brunn och ventilbox för vattenkoppling. Trädet var inramat med kantstål vilket begränsade rotutbredningen på flera håll.





Figur 18: Bild på träd #5 vid mätningstillfället. På bilden syns en av arboristerna.



Figur 19: Resultat träd #5. Bilden visar en graf i toppvy med resultatet från undersökningen. Korshårets mitt indikerar stammen. Strecken visar var rötter finns. Färgerna indikerar hastigheten ljudet transporterades mellan sändare och sensorer. H = höjden sensorerna applicerades från marken.

# Analys och diskussion

## Arboristernas kommentarer

Vid undersökningarna fördes löpande diskussioner med arboristerna som utförde arbetet. Vi diskuterade rötternas möjlighet att etablera sig och de ansåg att hinder som ventilationstrummor begränsade utbredningen. Arboristerna kommenterade förekomsten av dagvattenbrunnar vid träd #2 och möjligheten för individen att nyttja dessa, se tabell 2. Något de anser skulle kunna påverka rotutbredningen för individen.

Då undersökningarna på St Johannesgatan gjordes på lättviktsjord samt att individerna hade mindre stamomkrets blev arboristerna positivt överraskade av resultatet. Vid undersökningarna påpekade arboristerna att träd planterade för 5 år sedan kunde ha en rotutveckling som sträcker sig 7 meter från stammen, se figur 17. De är dock inte sannolikt att individerna skulle utvecklat rötter större än 3 cm i diameter 7 meter från stammen. De var även förvånade över längden på rotutbredningen för individerna. Slutligen var de imponerade att rötterna sträckte sig under kantstål och markplattor men påpekade att är svårt att veta om resultaten är helt tillförlitligt något som grävning kan konstatera.

## Tessins väg

Undersökningarna på Tessins väg gav båda ett mätbart resultat, se figur 11 och 13. En faktor som påverkat att det blev ett mätbart resultat är jordens struktur. Låg porositeten och en tät kornkontakt gör att ljudhastigheten påverkas i en mindre grad (Oezle et al. 2002). Eftersom det inte gjordes jordprover kan vi inte säkerställa hur jordens struktur på platsen är. Anläggningsår för platsen tyder på att jorden är en moränjord från Skåne, med hög lerhalt. Detta konstaterande kommer från besöken på platsen då jorden upplevdes lerig. Nederbörden under de tidigare dagarna kan ha bidragit till att ljudhastigheten försämrats (Oezle et al. 2002) men inga jordprover togs under undersökningen för att bekräfta den hypotesen.

Avläsningen av resultatet är en viktig del eftersom undersökningen visar den huvudsakliga rotutbredningen (Heartwood, 2018). Det går inte att säkerställa hur hela rotutbredningen ser ut eftersom det är primärt rötter större än 3 cm i diameter som ger utslag (Rinn, 2016). Rotdjupet kan också påverka resultatet, eftersom växtbädden är 400 mm djup och ljudtomografin endast ger utslag på rötter 300 mm från markytan (Rinn, 2016). Något som klargjorde varför *Salix caprea* gav ett tydligare resultat. En art som har ett ytligt rotsystem. *Salix caprea* är även en art som anses ha invasiva rötter som sträcker sig långt, något som resultatet visade, se figur 13. Storleken på individerna möjliggjorde användningen av fler sensorer, vilket i sin tur bidrar med ett tydligare resultat (RinnTech 2012). Även avståndet mellan mätningarna gav ett tydligare resultat. Slutligen går det inte att säkerställa att rötterna finns enligt resultatet eftersom jorden inte grävts bort för en jämförelse. Rinn (2016) hävdar att tidigare undersökningar med ljudtomografi stämmer väl överens med verkligheten, men fler undersökningar där resultaten jämförs med provgrävning krävs för att konstatera sambandet.

Båda träd-individerna är uppskattade att vara planterade samma år med en begränsad tillväxt till följd av den tunna växtbädden, se tabell 1 och 2. Vi anser att trädens rotutveckling



är begränsad av ventilationstrummor, markbeläggning samt konkurrerande vegetation. *Salix caprea* hade mindre konkurrerande vegetation, vilket kan vara en faktor till den kraftiga rotutbredningen. Det fanns även ett flertal dagbrunnar i nära anslutning som kan ha gynnat rottillväxten. Resultaten tyder att rötterna sökt sig där tillgången för näring och vatten var hög men konkurrensen låg, men utan jordanalyser kan inga slutsatser kring detta tas. Båda individernas rotsystem var kraftigast vid intilliggande gräsytor och vid anslutningen till dagbrunnar, men för att kunna dra slutsatser kring detta krävs avståndsmätningar.

Denna studie visar att etableringen av träd på bjälklag är svårtolkad för de undersökta träden. Rötterna sträcker sig dit näring och vatten finns lättillgängligt. Andra slutsatser förhindras på grund av individernas ålder samt den information som samlats in. Vid fler provtagningar av flera individer under en längre period kan en bättre slutsats tas om etableringen av träd på bjälklag.

### St Johannesgatan

Även undersökningarna på St Johannesgatan gav ett mätbart resultat. Substratet på platsen är en lättviktsjord vilket innebär att förutsättningarna för goda resultat var sämre. Detta eftersom lättviktsjordar har stora porer samt lösare kornkontakt som försämrar ljudetshastighet (Oezle, 2002). En lägre ljudhastighet kan leda till att ljudet inte når fram till sensorerna, vilket medför att resultatet inte visar några rötter även om det finns (RinnTech 2012). Likt Tessins väg kan nederbörden under de tidigare dagarna bidragit till att ljudhastigheten försämrats (Oezle, 2002). Inga jordprover togs under undersökningen för att bekräfta antagandet. Pimpsten har en god vattenhållande förmåga vilket bidrar till en försämrad ljudhastighet (a.a), något som inte förhindrade att få ett mätbart resultat.

Individerna på St Johannesgatan hade mindre stamomkrets, vilket fick till följd att färre sensorer kunde användas, se tabell 3, 4 och 5. Under undersökningen testades användningen av 8 sensorer, där det korta avståndet mellan sensorer orsakade programvaran att inte fungera. Till följd av detta begränsades resultatet jämfört med Tessins väg. Avläsningen måste därför anpassas eftersom rötterna kan breda ut sig åt fler håll än hur sensorerna riktas.

Eftersom (Rinn 2016) påpekar att rötter mindre än 3 cm i diameter inte syns på resultatet måste det ifrågasättas ifall individerna kan ha tjocka rötter så långt ut. Det är få tillfällen ljudtomografi följts upp med grävning för att säkerställa att resultatet. Resultatet visar att individernas rötter sträcker sig upp till 7 meter efter 5 års etablering, se figur 17. Resultatet antyder att det finns rötter som är mindre än 3 cm i diameter på grund av individernas storlek men att detta inte går att konstatera eftersom ingen grävning gjorts.

Placeringen av de undersökta individerna gör att deras rotutbredning är mer begränsad än på Tessins väg. Avstånden mellan fasad eller bjälklagskant till individer var ofta kort. Träden på bjälklaget var planterade i grupper med mellanrum på 3 meter. Andra faktorer var mindre markbelysning, ventilboxar för vattenkoppling, kantstål samt brunnslock. Bjälklagsytan var mindre än Tessins väg. Resultaten i undersökningen visar att större hinder som fasad begränsar rotutbredningen.

Växtbädden varierar i djup och avgränsas med kantstål. Planteringsytorna har ett jorddjup mellan 220 mm och 500 mm. Gräsyterna har ett jorddjup mellan 220 mm och 300 mm. Detta kan ha påverkat resultatet för rötterna i planteringsytorna eftersom utrustningen inte ger utslag på rötter under 300 mm (Rinn, 2016). Två av individerna var av art *Prunus*, med ett ytligt rotsystem som bidrar med ett bättre resultat. Resultatet visar att rötterna sträcker sig under kantstål och markplattor utan synlig påverkan på materialen, se figur 14 och 16. Dessvärre visar ej graferna placering av kantstål eller markplattor. Det finns ingen information hur långt ner kantstålen är nedgrävda, resultaten tyder på att det bör finnas utrymme där rötterna kan passera. Resultaten stärker hypotes att "Rötter söker sig där tillgången för näring och vatten är hög men konkurrensen låg", men utan jordanalyser kan inga slutsatser kring detta tas. Det finns många faktorer som påverkat resultatet, olika trädarter och deras placering på bjälklaget. Utan upprepade undersökningar är det svårt att dra en slutsats om detta.

En slutsats om etableringen av dessa individer är fortfarande svårtolkad. Om undersökningar gjorts på samtliga individer med årsintervall efter plantering hade resultaten givit en bättre förståelse hur rötter etablerar sig på bjälklag med lättviktsjord. Resultatet tyder på att rötterna sträcker sig längre än förväntat med tanke på planteringsår.

## Slutsats

Resultatet visar att ljudtomografi är en möjlig metod för kartläggning av trädrötters utbredning på bjälklag, även i lättviktsjord. Resultaten visar rötternas huvudsakliga riktning men är begränsad och beroende av antalet sensorer som används vid denna typ av undersökning. Antalet sensorer som används är beroende av stammens diameter. Undersökningen går ej att utföra om avståndet mellan sensorerna är för kort. Fler sensorer ger ett tydligare resultat. Väderförhållanden påverkar möjligheten att utföra undersökningarna eftersom utrustningen är känsligt mot väta.

Det går inte att konstatera att rötterna finns enligt resultaten, då provgrävning ej gjorts för att säkerställa resultatet. Tidigare studier där provgrävningar gjorts efter utförd ljudtomografi tyder på att resultaten stämmer med rötternas placering (Rinn 2016). Dock är denna typ av undersökning ej gjord på bjälklag. Resultaten visar att rötterna i lättviktsjord sträcker sig lång efter 5 års etablering, upp till 7 meter, se figur 16. Rinn (2016) hävdar att rötter mindre än 3 cm i diameter inte visas på resultatet. Vi anser att de undersökta individer planterade 2014 inte kan ha utvecklat rötter större än 3 cm i diameter 7 meter från stammen. Slutsatser om etableringen av rötter på bjälklag bör undersökas mer. För att få en större förståelse hur rötter etablerar sig på bjälklag krävs kontinuerliga undersökningar på nyplanterade individer.

## Referenser:

- Bara mineraler. (2019). *Hekla lätt jord typ C*. Tillgänglig: <https://www.baramineraler.se/anlaggning-vaxtbadd/hekla-lattjord-typ-c/> [2019-12-18]
- Barberon, M., Geldner, N. (2014). Radial Transport of Nutrients: The Plant Root as a Polarized Epithelium. *American Society of Plant Biologists*, 10/2014. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.246124>
- Biddle, P.G. (1998). *Tree root damage to buildings, volume 1 Causes, diagnosis and remedy*. Wantage: Willowmead Publishing
- Europakommisionen. (2020). *Climate strategies & targets*. Tillgänglig: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en) [2020-01-07]
- Gasson, P.E., Cutler, D.F., Farmer, M.C. (1990). Tree root plate morphology / The wind blown tree survey: analysis of results. *Arboricultural Association*, 1990, ss.193-286.
- Heartwood (2018). *Rotkartering med Arboradix* [Broschyr]. Malmö: Heartwood [2019-12-18]
- Larsson, R (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens geotekniska institut. (Rapport 2008:05)  
Tillgänglig: <https://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i1.pdf>
- LibreTexts (2019). *Speed of Sound*. Tillgänglig: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University\\_Physics/Book%3A\\_University\\_Physics\\_\(OpenStax\)/Map%3A\\_University\\_Physics\\_I\\_-\\_Mechanics%2C\\_Sound%2C\\_Oscillations%2C\\_and\\_Waves\\_\(OpenStax\)/17%3A\\_Sound/17.03%3A\\_Speed\\_of\\_Sound](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_(OpenStax)/Map%3A_University_Physics_I_-_Mechanics%2C_Sound%2C_Oscillations%2C_and_Waves_(OpenStax)/17%3A_Sound/17.03%3A_Speed_of_Sound) [2020-01-02]
- Luchin, G., Ramos, L.F., D'amato, M. (2018). Sonic Tomography for Masonry Walls Characterization. *International Journal of Architectural Heritage*, 12/14/2018, ss.1-16. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1554723>
- Malmö stads Stadsbyggnadskontorsarkiv. (2019). *Stjärnhus 6*. Tillgänglig: Malmö stads Stadsbyggnadskontorsarkiv.
- Muhammad, S., Reeho, K., Muhammad, R. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review; Renewable and Sustainable Energy Reviews. *Elsevier*, vol. 90, ss. 757-773.
- Munjal, M.L (2013). *Noise and Vibration Control*. Indien, Indian Institute of Science Press.

Nationalencyklopedin. (2020). tomografi. Tillgänglig:  
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/tomografi> [2020-01-03]

Oelze, M.L., O'Brien, W.D., Darmod, R.G. (2002) Measurement of Attenuation and Speed of Sound in Soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 66 ss. 788–796.

Pettersson Skog, A., Malmberg, J., Emilsson, T., Jägerhök, T., Capener, C-M. (2017) *Grönatakhandboken - Växtbädd och vegetation*. Vinnova. Tillgänglig:  
<https://gronatakhandboken.se/wp-content/uploads/2017/02/Gronatakhandboken-Vaxtbadd-och-Vegetation.pdf>

Rinn, F. (2008). Wurzeldiagnose mit einem Schalltomographen. *AFZ DerWALD*, 12/2008, ss. 630-631.

Rinn, F. (2016). Tree root plate assessment by sounding. *Western Arborist*. Fall 2016. Tillgänglig:  
[http://download.rinntech.com/RINN\\_SonicRootInspection\\_WesternArborist\\_Fall\\_2016.pdf](http://download.rinntech.com/RINN_SonicRootInspection_WesternArborist_Fall_2016.pdf)

Rinn, F. (2018). Sonic tomography cannot reveal wood condition. *Tree Matters*, Edition 77- Autumn 2018, ss. 8-10. Tillgänglig:  
[http://download.rinntech.com/2018\\_NZArb\\_RINN\\_SonicTomographyCannotNotRevealWoodCondition.pdf](http://download.rinntech.com/2018_NZArb_RINN_SonicTomographyCannotNotRevealWoodCondition.pdf)

RinnTech (2012). *ARBOTOM® 3-D Tree Impulse Tomograph - Version for Microsoft Windows® 98, 2000, XP, Vista, Windows 7 - User Manual*. [Manual]. Heidelberg: RinnTech [2019-12-18]

Studle, E. (1994). Water transport across roots. *Plant and Soil*, vol.167 ss. 79-90.

Thomas O. P. (1993) *Size, Design and Management of Tree Planting Sites* 1. uppl. Savoy, Illinois: Internationale Society of Arboiculture.

Zhang, D.J., Yang, Y.J., Liu, C.Y., Zhang, F., Wu, Q.S. (2018) Root Hair Growth and Development in Response to Nutrients and Phytohormones. I: Bhoopander, G., Ram, P., Ajit, V. *Root Biology*. Cham: Springer, ss. 65-84.

Östberg & Stål, (2018). *Standard för skyddande av träd vid byggnation 2.0*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. (Rapport 2018:2) Tillgänglig:  
[https://pub.epsilon.slu.se/15341/2/Ostberg\\_J\\_et\\_al\\_20180206.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/15341/2/Ostberg_J_et_al_20180206.pdf)